

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-308071

(43)Date of publication of application : 02.11.2001

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

C23C 16/511

H01L 21/285

H01L 21/31

H05H 1/46

(21)Application number : 2000-125792

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 26.04.2000

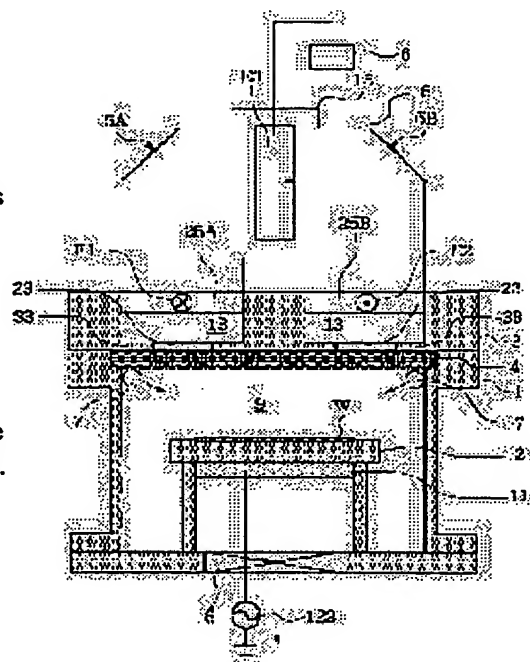
(72)Inventor : SUZUKI NOBUMASA

**(54) PLASMA PROCESSING APPARATUS USING WAVEGUIDE HAVING E- PLANE BRANCH AND METHOD OF PLASMA PROCESSING**

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To suppress process along circumferential direction in an annular waveguide by refraining from destroying the balance of microwave plasma density, even under any condition.

**SOLUTION:** This plasma processing apparatus comprises a plasma-generating chamber 9, a supporting means 2 that supports a substrate W to be processed, a gas-introducing means 7, and an exhausting means 8. Two guiding openings 25A, 25B are formed on a microwave feeder 3 that feeds a microwave through a dielectric window 4, and the microwaves divided by an E-plane T-branch 15 are so guided to the guiding openings, that the directions of the electric vectors are mutually in reverse.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-308071  
(P2001-308071A)

(43) 公開日 平成13年11月2日 (2001.11.2)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テームコード* (参考)
H 0 1 L	21/3065	C 2 3 C 16/511	4 K 0 3 0
C 2 3 C	16/511	H 0 1 L 21/285	C 4 M 1 0 4
H 0 1 L	21/285	21/31	C 5 F 0 0 4
21/31		H 0 5 H 1/46	B 5 F 0 4 5
H 0 5 H	1/46	H 0 1 L 21/302	B

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-125792(P2000-125792)

(22) 出願日 平成12年4月26日 (2000.4.26)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 鈴木 伸昌

東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内

(74) 代理人 100090538

弁理士 西山 恵三 (外1名)

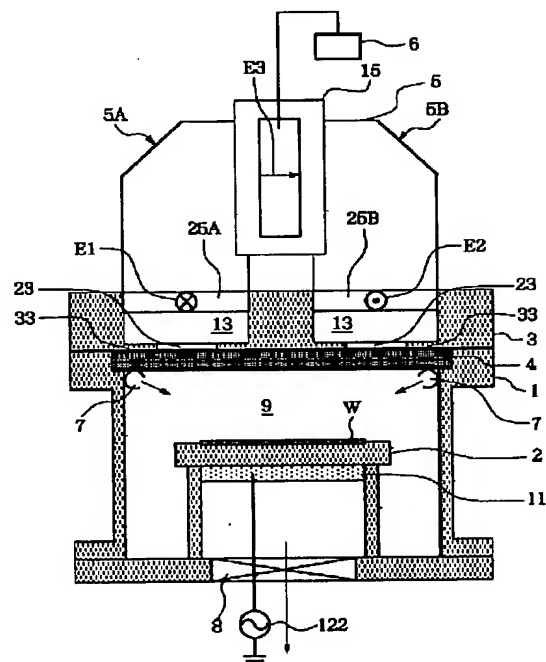
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 E面分岐を有する導波管を用いたプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 いかなる条件においても、マイクロ波プラズマ密度のバランスが崩れないようにして、環状導波路における周方向の処理ムラを抑える。

【解決手段】 プラズマ発生室9と被処理体Wを支持する支持手段2とガス導入手段7と排気手段8とを有するプラズマ処理装置において、誘電体窓4を透してマイクロ波を供給するマイクロ波供給器3に2つの導入口25A、25Bを設け、E面T分岐15により分配されたマイクロ波を電界ベクトルの向きが互いに逆になるように、該導入口に導く。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ発生室と、被処理体を支持する支持手段と、該プラズマ発生室内にガスを導入するガス導入手段と、該プラズマ発生室内を排気する排気手段と、誘電体窓を透してマイクロ波を該プラズマ発生室に供給するマイクロ波供給器とを備えたプラズマ処理装置であって、該マイクロ波供給器は、所定の間隔で設けられた複数のスロットを有する環状導波路と該環状導波路に設けられた少なくとも2個の導入口と、該導入口に電界ベクトルが互いに逆方向を向くようにマイクロ波を導入する為のE面分岐とを有することを特徴とするマイクロ波プラズマ処理装置。

【請求項2】 前記環状導波路の周長が管内波長の4倍であり、前記スロットが45°間隔に8個設けられていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項3】 前記環状導波路の周長が管内波長の2倍であり、前記スロットが90°間隔に4個設けられていることを特徴とする請求項1に記載のプラズマ処理装置。

【請求項4】 プラズマ発生室と被処理体を支持する支持手段と該プラズマ発生室内にガスを導入するガス導入手段と該プラズマ発生室内を排気する手段と誘電体窓を透してマイクロ波を該プラズマ発生室に供給するマイクロ波供給器とを備えたプラズマ処理装置を用いたプラズマ処理方法において、E面分岐を用いて分配したマイクロ波を電界ベクトルが互いに逆方向を向くように少なくとも2つの導入口に導入し、該導入口から導入されたマイクロ波を環状導波路のH面に設けられたスロットより該誘電体窓を透して該プラズマ発生室内に供給し、該被処理体を処理することを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項5】 請求項4に記載のプラズマ処理方法により、レジストの除去工程、エッチング工程、成膜工程、ドーピング工程及びクリーニング工程のうち少なくともいずれかを行うことを特徴とする半導体装置の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法に関する。更に詳しくは、マイクロ波の導入方式が改良されたマイクロ波プラズマ処理装置及び方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】マイクロ波をプラズマ発生用の励起源として使用するプラズマ処理装置としては、半導体装置の製造に用いられるところの、エッチング装置、アッシング装置、CVD装置、ドーピング装置、クリーニング装置、表面改質装置等が知られている。

【0003】マイクロ波プラズマエッチング装置を使用

する被処理体のエッチング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマエッチング装置のプラズマ発生室内にエッチャントガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入してエッチャントガスを励起、分解して、被処理体の表面をエッチングする。

【0004】また、マイクロ波プラズマアッシング装置を使用する被処理体のアッシング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマアッシング装置のプラズマ発生室内にアッシングガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入してアッシングガスを励起、分解して、被処理体の表面にあるレジスト等の有機物をアッシングする。

【0005】また、マイクロ波プラズマCVD装置を使用する被処理基体の成膜処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマCVD装置のプラズマ発生室内に反応ガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入して反応ガスを励起、分解して、被処理体上に堆積膜を形成する。

【0006】また、マイクロ波プラズマドーピング装置を使用する被処理体のドーピング処理は、例えば次のようにして行われる。即ち、マイクロ波プラズマドーピング装置のプラズマ発生室内にドーピングガスを導入し、同時にマイクロ波エネルギーを投入して反応ガスを励起、分解して、被処理体の表面にドーピングを行う。

【0007】マイクロ波プラズマ処理装置においては、ガスの励起源として高い周波数を持つマイクロ波を使用することから、電子加速の回数が増加するので電子密度が高くなり、ガス分子を効率的に電離、励起させることができる。それ故、マイクロ波プラズマ処理装置については、ガスの電離効率、励起効率及び分解効率が高く、高速に低温でも高品質処理できるといった利点を有する。また、マイクロ波が誘電体を透過する性質を有することから、プラズマ処理装置を無電極放電タイプのものとして構成でき、これが故に高清浄なプラズマ処理を行い得るという利点もある。

【0008】マイクロ波プラズマ処理装置の例として、近年、マイクロ波の均一で効率的な導入装置として複数の直線状スロットが平板状H面に放射状に形成された無終端環状導波管を用いた装置が提案されている（特開平10-233295）。このマイクロ波プラズマ処理装置を図6に示す。9はプラズマ発生室、9Wは被処理体、2は被処理体Wの支持手段、11は被処理体の温度を調節する手段、122は高周波バイアス印加手段、7は処理用ガス導入手段、8は排気手段、4はプラズマ発生室9を大気側と分離する誘電体窓、3はマイクロ波を誘電体窓4を透してプラズマ発生室9に導入するためのスロット23付のマイクロ波供給器、13は無終端環状導波路、25は無終端環状導波路13内にマイクロ波導入し時計回り及び反時計回りに分配する導入口である。

【0009】プラズマの発生及び処理は以下のようにし

て行う。排気手段8を介してプラズマ発生室9内を真空排気する。続いてプラズマ処理用ガスを処理用ガス導入手段7を介して所定の流量でプラズマ発生室9内に導入する。プラズマ発生室9内を所定の圧力に保持する。必要に応じて、高周波バイアス印加手段122を介して被処理体Wにバイアス電圧を印加する。マイクロ波電源6より所望の電力を無終端環状導波路13を介してプラズマ発生室9内に供給する。この際、無終端環状導波路13内に導入されたマイクロ波は、導入口25で二分配され、自由空間よりも長い管内波長をもって導波路13内を伝搬する。分配されたマイクロ波同士は干渉しあい、管内波長の1/2毎に節又は腹をもつ定在波913を生じる。電流が最大になる位置、即ち、隣接する2つの定在波の間で無終端環状導波路13の中央、に設置されたスロット23から誘電体窓4を透してプラズマ発生室9に導入されたマイクロ波は、スロット23近傍にプラズマを生成する。生成したプラズマの電子プラズマ周波数が電源周波数を超える（例えば、電子密度が $7 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$ を超える場合、電子プラズマ周波数が電源周波数2.45GHzを超える）と、マイクロ波はプラズマ中を伝搬できなくなる、いわゆるカットオフを生じ、さらに、電子密度が増加し、下記式1に示す表皮厚8が十分薄くなると、誘電体窓4の表面をマイクロ波が伝搬する。

$$[0010] \text{ (数1) } \delta = (2/\omega\mu_0\sigma)^{1/2}$$

[0011] ここで、 $\omega$ は電源角周波数、 $\mu_0$ は真空透磁率、 $\sigma$ はプラズマ導電率である。（例えば、電子密度が $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 以上になり、表皮厚は3mm以下になると、誘電体窓4の表面を表面波としてマイクロ波が伝搬する。隣接するスロット23から導入された表面波同士が干渉し、略略、下記式2で表される表面波の波長の1/2毎に表面定在波を生じる。

$$[0012] \text{ (数2) } \lambda_s = \lambda_0 / \epsilon_r^{1/2}$$

[0013] ここで、 $\lambda_0$ は自由空間マイクロ波波長、 $\epsilon_r$ は誘電体比誘電率である。プラズマ発生室9にしみ出したこの表面定在波によって電子が加速され表面波干渉プラズマ(SIP: Surface-wave Interfered Plasma)が生成される。この時に処理用ガスをプラズマ発生室9内に導入しておくと処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、支持手段2上に載置された被処理体Wの表面を処理する。

[0014] このようなマイクロ波プラズマ処理装置を用いることにより、圧力1.3Pa、マイクロ波パワー3kWの条件で、直径300mm以上の大口径空間に±3%以内の均一性をもって、電子密度 $2 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 以上、電子温度3eV以下、プラズマ電位15V以下の高密度低電子温度プラズマを発生できる。これにより、ガスを十分に反応させ活性な状態で基板に供給でき、かつ入射イオンやチャージアップによる基板表面ダメージ

も低減するので、高品質で高速な処理が可能になる。

[0015] また、アッシング処理などで使用する133Pa程度の高圧条件では電子密度 $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ 以上の高密度プラズマが誘電体窓4近傍に局所的に発生するので、高速で極めて低ダメージな処理が可能になる。

[0016]

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、図6に示したような高密度低電子温度プラズマを発生するマイクロ波プラズマ処理装置を用いて処理を行う場合、条件によっては、マイクロ波導波路25とその対向部26とでプラズマ密度のバランスが崩れ、周方向の処理ムラが発生する場合がある。

[0017] 本発明の主たる目的は、高品質な処理をより高速かつ均一に行うことが可能になるように、特に導入部と対向部のプラズマ密度バランスが崩れず、高密度低電子温度プラズマを発生できるプラズマ処理装置及びプラズマ処理方法を提供することにある。

[0018]

【課題を解決するための手段】本発明は、プラズマ発生室と、被処理体を支持する支持手段と、該プラズマ発生室内にガスを導入するガス導入手段と、該プラズマ発生室内を排気する排気手段と、誘電体窓を透してマイクロ波を該プラズマ発生室に導入するマイクロ波供給器とを備えたプラズマ処理装置であって、該マイクロ波供給器は、H面に所定の間隔で設けられた複数のスロットを有する環状導波路と該環状導波路に設けられた少なくとも2個の導入口と、該導入口に電界ベクトルが互いに逆方向を向くようにマイクロ波を導入する為のE面分岐とを有する。

[0019]

【発明の実施の形態】図1は本実施の形態によるプラズマ処理装置の模式的断面図、図2は本発明に用いられるマイクロ波供給器の模式的上面図である。

[0020] このプラズマ処理装置は、容器1内に形成されたプラズマ発生室9と、被処理体Wを支持する支持手段2と、プラズマ発生室9内にガスを導入するガス導入手段7と、プラズマ発生室9内を排気する排気手段8と、誘電体窓4を透してマイクロ波をプラズマ発生室9内に供給するマイクロ波供給器3を備えている。

[0021] マイクロ波供給器3は、H面33にスロット23を有する環状導波路13と、環状導波路13内にマイクロ波を導入する導入口15A、15Bと、分岐回路15とを有する。分岐回路15はE面分岐となっており、マイクロ波電源より、矩形導波管を介して接続された分岐回路15に導入された電界ベクトルE3をもつTE<sub>10</sub>モードのマイクロ波は左右の矩形導波管5に分配され、Eコーナーで5A、5Bで曲がり、導入口25Aと導入口25Bに向けて進行する。

[0022] 導入口25Aでは、電界ベクトルE1をもつマイクロ波として導入され、導入口25Bでは、電界

ベクトルE2をもつマイクロ波として導入される。電界ベクトルE1をE2とは図1、図2に示すように互いに逆向きである。

【0023】導入口25A、25Bより環状導波路13内に導入されたマイクロ波は、両者共に時計回り及び反時計回りに導波路13内を進行する。環状導波路13は無終端で、その周長（時計回り又は反時計回り方向の長さ）が管内波長（導波路内におけるマイクロ波伝搬波長）の整数倍となっているので、定在波が発生する。本実施態様では管内波長の2倍又は4倍或いは6倍のよう

に偶数倍とする。

【0024】次に、図3を参照してプラズマ発生の様子について説明する。

【0025】図3は、導入口25付近のマイクロ波とプラズマを示す模式図である。

【0026】導波路13内では、前述したとおり、マイクロ波同士の干渉により定在波STWが生じている。マイクロ波はスロット23を通じて漏れ、誘電体窓4の表面に沿って伝搬し表面波SFWを生じる。隣接する2つのスロットから放出された表面波SFWは互いに干渉し、表面定在波SSWを生じる。この表面定在波SSWにより表面干渉波プラズマSIPが発生する。

【0027】2つの導入口を180°位置の異なる導波路13上に設け、導波路の周長を管内波長の偶数倍とし、電界ベクトルE1、E2が互いに逆方向になるように、マイクロ波を導波路13に導入しているの、プラズマ密度のバランスが崩れず、高密度低電位のプラズマを誘電体窓4の表面に沿って均一に発生させることができる。

【0028】符号11はクーラー又はヒーター等の温度制御装置であり、必要に応じて動作させられる。

【0029】又、必要に応じて、支持手段2に高周波電源やDC電源のようなバイアス電圧源122を付設して、被処理体Wにバイアス電圧を付与して荷電粒子の入射を制御することも好ましい。

【0030】スロット23は管内波長の1/2間隔で設けられている。環状導波路の周長を管内波長の4倍に設計した場合にはスロット23は45°毎に合計8個形成すれば良い。

【0031】周長を管内波長の2倍に設計した場合には、スロットは90°毎に合計4個形成すれば良い。

【0032】プラズマの発生及び処理は以下のようにして行う。排気手段8の排気口を介してプラズマ発生室9内を排気する。続いて、プラズマ処理用ガスをガス導入手段7を介して所定の流量でプラズマ発生室9内に導入する。次に、排気手段8に設けられたコンダクタンスバルブ（不図示）を調整し、プラズマ発生室9内を所定の圧力に保持する。マイクロ波電源6より所望の電力を、E面分岐15、導入口25A、25B、導波路13、スロット23を有するマイクロ波供給器3を介して、プラ

ズマ発生室9内に供給する。これによりプラズマ発生室9内にプラズマが発生する。この際、環状導波路13の2箇の導入口25A、25Bから導入されるマイクロ波の電界ベクトルは分岐回路15のE面分岐により互いに逆方向を向くようにし、管内波長の偶数倍の周長をもつ導波路13内で強く干渉しあう様にする。この時に処理用ガス導入手段7を介して処理用ガスが発生室9内に導入されているので処理用ガスは発生した高密度プラズマにより励起され、ラジカルやイオンとなって支持手段2の上に載置された被処理体Wの表面を処理する。

【0033】図4は本発明による別の実施形態によるプラズマ処理装置の模式的断面図であり、図1の構成と同じ部分には同じ符号を付与している。

【0034】図5は図4に用いられる分岐回路15の模式的斜視図である。

【0035】この装置は図1の装置と基本構成は同じであり、細部が異なるだけである。

【0036】117はガス放出口であり、誘電体窓方向に向いてガスを放出する。ガス源127はガスボンベ157、バルブ147、マスフローコントローラ137等を含む。

【0037】排気系は真空ポンプ118やコンダクタンス制御バルブ128等を含む。

【0038】支持手段2にはリフトピン112が設けられており、リフトピン112を昇降させることにより被処理体Wを支持手段2の上面に対して接離可能に構成されている。

【0039】分岐回路15の入口に接続されたマイクロ波電源6により発振されたマイクロ波はTE<sub>10</sub>モードでE面T分岐となっている分岐回路15によって、左右の対称な矩形導波管5に分配されEコーナー5A、5Bによって直角に進行方向を変更して導入口25A、25Bに向けて進む。この導入口部分もそれぞれE面T分岐になっているので、環状導波路13内に分配される。

【0040】環状導波路13内で定在波が生じ、スロット23からマイクロ波が放出され、前述したようにプラズマPがプラズマ発生室9内に発生する。

【0041】マイクロ波の伝搬やプラズマ発生の様子は、図3を参照して説明したとおりである。本発明は、MOSトランジスタのような半導体装置の製造方法において、レジストの除去工程、エッチング工程、成膜工程、ドーピング工程、クリーニング工程のうち、少なくとも1工程に上述したプラズマ処理を利用する。

【0042】本発明においては、必要に応じてプラズマが発生するプラズマ発生室と被処理体Wが配される処理室とを分離してもよい。

【0043】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置に用いられる導波路13内は誘電体で充填されていても大気でも真空でもよいが、その周長を管内波長の偶数倍にすべきである。

10

20

30

40

50

【0044】本発明のスロットの形状は、長さが管内波長の $1/4$ 程度である矩形状穿孔でも、矩形状穿孔が複数、不連続かつ直線上に配置されたものでも適用可能である。

【0045】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置に用いられるマイクロ波供給器3の材質は、導電体であれば使用可能であるが、マイクロ波の伝搬ロスをできるだけ抑えるため導電率の高いAl、Cu、Ag/Cuメッキしたステンレス銅などが好ましい。

【0046】本発明に用いられるスロット付平板状環状導波管のスロット間隔は、管内波長の $1/2$ もしくは $1/4$ が最適である。

【0047】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において用いられるマイクロ波周波数は、0.8GHz乃至20GHzの範囲から適宜選択することができる。

【0048】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において用いられる誘電体としては、SiO<sub>2</sub>系の石英ガラスやその他のガラス、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlN、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、NaCl、KCl、LiF、CaF<sub>2</sub>、BaF<sub>2</sub>、MgOなどの無機物が適当であるが、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミド、ポリテトラフルオロエチレンなどの有機物のフィルム、シートなども条件によっては適用可能である。

【0049】本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法において、磁界発生手段を用いても良い。本発明のプラズマ処理装置及び処理方法において用いられる磁界としては、ミラー磁界なども適用可能であるが、磁界がスロットの長手方向と平行、即ち、磁界がスロットの電界と直交し、スロット近傍の磁束密度が基板近傍の磁束密度よりも100倍以上大きいマグネトロン磁界が最適である。磁界発生手段としては、コイル以外でも適用可能であるが、該電体窓近傍に局在した磁界を印加できる永久磁石が最適である。コイルを用いる場合には過熱防止のため水冷機構や空冷など他の冷却手段を付設してもよい。

【0050】また、処理のより高品質化のため、紫外光を被処理体表面に照射してもよい。光源としては、被処理体もしくはその上に付着したガスに吸収される光を放射するものなら適用可能で、エキシマレーザ、エキシマランプ、希ガス共鳴線ランプ、低圧水銀ランプなどが適当である。

【0051】本発明のマイクロ波プラズマ処理方法におけるプラズマ処理時の発生室内の圧力は0.01Pa乃至1400Paの範囲、より好ましくは、CVDの場合0.6Pa乃至70Pa、エッチングの場合0.06Paから7Pa、アッシングの場合10Paから1400Paの範囲から選択することができる。

【0052】本発明のマイクロ波プラズマ処理方法による堆積膜の形成は、使用するガスを適宜選択することによりSi、N、SiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、TiO<sub>2</sub>、TiN、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlN、MgF<sub>2</sub>などの絶縁膜、a-Si、poly-Si、SiC、GaAsなどの半導体膜、Al、W、Mo、Ti、Taなどの金属膜等、各種の堆積膜を効率よく形成することが可能である。

【0053】本発明のプラズマ処理方法により処理する被処理体Wは、半導体であっても、導電性のものであっても、あるいは電気絶縁性のものであってもよい。又、その表面にレジスト等を有していてもよい。

【0054】導電性基体としては、Fe、Ni、Cr、Al、Mo、Au、Nb、Ta、V、Ti、Pt、Pbなどの金属またはこれらの合金、例えば真鍮、ステンレス鋼などが挙げられる。

【0055】絶縁性基体としては、SiO<sub>2</sub>系の石英や各種ガラス、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、NaCl、KCl、LiF、CaF<sub>2</sub>、BaF<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、AlN、MgOなどの無機物、ポリエチレン、ポリエステル、ポリカーボネート、セルロースアセテート、ポリプロピレン、ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ポリスチレン、ポリアミド、ポリイミドなどの有機物のフィルム、シートなどが挙げられる。

【0056】CVD法により基板上に薄膜を形成する場合に用いられるガスとしては、一般に公知のガスが使用できる。

【0057】a-Si、poly-Si、SiCなどのSi系半導体薄膜を形成する場合の処理用ガス導入手段7を介してプラズマ発生9へ導入するSi原子を含有する原料ガスとしては、SiH<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>などの無機シラン類、テトラエチルシラン(TEOS)、テトラメチルシラン(TMS)、ジメチルシラン(DMS)、ジメチルジフルオロシラン(DMDFS)、ジメチルジクロロシラン(DMDCS)などの有機シラン類、SiF<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、SiF<sub>3</sub>、SiHF<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>F<sub>2</sub>、SiCl<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>Cl<sub>6</sub>、SiHCl<sub>3</sub>、SiH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>、SiH<sub>3</sub>Cl、SiCl<sub>2</sub>F<sub>2</sub>などのハロシラン類等、常温常圧でガス状態であるものまたは容易にガス化し得るものが挙げられる。また、この場合のSi原料ガスと混合して導入してもよい添加ガスまたはキャリアガスとしては、H<sub>2</sub>、He、Ne、Ar、Kr、Xe、Rnが挙げられる。

【0058】Si、N、SiO<sub>2</sub>などのSi化合物系薄膜を形成する場合の処理用ガスとしてのSi原子を含有する原料としては、SiH<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>などの無機シラン類、テトラエトキシシラン(TEOS)、テトラメトキシシラン(TMOS)、オクタメチルシクロテトラシラン(OMCTS)、ジメチルジフルオロシラン(DMDFS)、ジメチルジクロロシラン(DMDCS)などの有機シラン類、SiF<sub>4</sub>、Si<sub>2</sub>F<sub>6</sub>、Si

,  $F_2$ ,  $SiHF_3$ ,  $SiH_2F_2$ ,  $SiCl_4$ ,  $SiCl_3Cl$ ,  $SiHCl_2$ ,  $SiH_2Cl_2$ ,  $SiH_3Cl$ ,  $SiCl_2F_2$  などのハロシラン類等、常温常圧でガス状態であるものまたは容易にガス化し得るものが挙げられる。また、この場合の同時に導入する窒素原料ガスまたは酸素原料ガスとしては、 $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2H_4$ , ヘキサメチルジシラザン (HMDS),  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$  などが挙げられる。

【0059】Al, W, Mo, Ti, Taなどの金属薄膜を形成する場合の処理用ガスとしての金属原子を含有する原料としては、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリエチルアルミニウム (TEAI)、トリイソブチルアルミニウム (TIBAI)、ジメチルアルミニウムハイドライド (DMAIH)、タングステンカルボニル ( $W(CO)_6$ )、モリブデンカルボニル ( $Mo(CO)_6$ )、トリメチルガリウム (TMGa)、トリエチルガリウム (TEGa) などの有機金属、 $AlCl_3$ ,  $WF_6$ ,  $TiCl_3$ ,  $TaCl_5$  などのハロゲン化金属等が挙げられる。また、この場合のSi原料ガスと混合して導入してもよい添加ガスまたはキャリアガスとしては、 $H_2$ , He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rnが挙げられる。

【0060】 $Al_2O_3$ ,  $AlN$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $TiN$ ,  $WO_3$  などの金属化合物薄膜を形成する場合の処理用ガスとしての金属原子を含有する原料としては、トリメチルアルミニウム (TMAI)、トリエチルアルミニウム (TEAI)、トリイソブチルアルミニウム (TIBAI)、ジメチルアルミニウムハイドライド (DMAIH)、タングステンカルボニル ( $W(CO)_6$ )、モリブデンカルボニル ( $Mo(CO)_6$ )、トリメチルガリウム (TMGa)、トリエチルガリウム (TEGa) などの有機金属、 $AlCl_3$ ,  $WF_6$ ,  $TiCl_3$ ,  $TaCl_5$  などのハロゲン化金属等が挙げられる。また、この場合の同時に導入する酸素原料ガスまたは窒素原料ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2H_4$ , ヘキサメチルジシラザン (HMDS) などが挙げられる。

【0061】基体表面のSi, SiCなどのSi系半導体膜をエッチングする場合の処理用ガスとしてのエッチング用ガスとしては、 $CF_4$ ,  $Cl_2$ ,  $CCl_4$ ,  $CH_2Cl_2$ ,  $C_2Cl_6$  などが挙げられる。

【0062】基体表面のSi,  $N_4$ ,  $SiO_2$ , 各種SiOGなどのSi化合物膜をエッチングする場合の処理用ガスとしてのエッチング用ガスとしては、 $F_2$ ,  $CF_4$ ,  $CH_2F_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_4F_8$ ,  $CF_3Cl$ ,  $SF_6$ ,  $NF_3$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  などが挙げられる。

【0063】基体表面の $Al_2O_3$ ,  $AlN$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $TiO_2$ ,  $TiN$ ,  $WO_3$  などの金属化合物膜をエッチングする場合の処理用ガスとしてのエッチング用ガ

スとしては、 $F_2$ ,  $CF_4$ ,  $CH_2F_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_4F_8$ ,  $CF_3Cl$ ,  $SF_6$ ,  $NF_3$ ,  $Cl_2$ ,  $CCl_4$ ,  $CH_2Cl_2$ ,  $C_2Cl_6$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $NH_3$  などが挙げられる。

【0064】基体表面のAl, Cu, W, Mo, Ti, Taなどの金属膜をエッチングする場合の処理用ガスとしてのエッチング用ガスとしては、 $CF_4$ ,  $Cl_2$ ,  $CCl_4$ ,  $CH_2Cl_2$ ,  $C_2Cl_6$  などが挙げられる。

【0065】基体表面のポリアリアルエーテル、ポリフルオロカーボン、ポリイミド、ポリアミド、ポリカーボネートなどの各種有機膜をエッチングする場合の処理用ガスとしてのエッチング用ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$  などが挙げられる。

【0066】フォトリソストなど基体表面上の有機成分をアッシング除去する場合の処理用ガスとしてのアッシング用ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $N_2O$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$  などが挙げられる。

【0067】イオン注入後のフォトリソストなど基体表面上の硬化した有機成分をアッシング除去する場合の処理用ガスとしてのアッシング用ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $F_2$ ,  $CF_4$ ,  $CH_2F_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_4F_8$ ,  $CF_3Cl$ ,  $SF_6$ ,  $NF_3$  などが挙げられる。

【0068】また本発明のマイクロ波プラズマ処理装置及び処理方法を表面改質にも適用する場合、使用するガスを適宜選択することにより、例えば基体もしくは表面層としてSi, Al, Ti, Zn, Taなどを使用してこれら基体もしくは表面層の酸化処理あるいは窒化処理さらにはB, As, Pなどのドーピング処理等が可能である。更に本発明において採用する成膜技術はクリーニング方法にも適用できる。その場合酸化物あるいは有機物や重金属などのクリーニングに使用することもできる。

【0069】基体を酸化表面処理する場合の処理用ガスとしての酸化性ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $N_2O$ ,  $N_2$ ,  $NO_2$  などが挙げられる。また、基体を窒化表面処理する場合の処理用ガスとしての窒化性ガスとしては、 $N_2$ ,  $NH_3$ ,  $N_2H_4$ , ヘキサメチルジシラザン (HMDS) などが挙げられる。

【0070】基体表面の有機物をクリーニングする場合のクリーニング用ガスとしては、 $O_2$ ,  $O_3$ ,  $H_2O$ ,  $H_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ,  $NO_2$  などが挙げられる。また、基体表面の無機物をクリーニングする場合のクリーニング用ガスとしては、 $F_2$ ,  $CF_4$ ,  $CH_2F_2$ ,  $C_2F_6$ ,  $C_4F_8$ ,  $CF_3Cl$ ,  $SF_6$ ,  $NF_3$  などが挙げられる。

【0071】(実施例1) 図1に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、フォトリソストのアッシングを



行った。

【0072】被処理体Wとしては、フォトリジストマスクを用いて酸化シリコン膜をエッチングし、ビアホールを形成した直後のシリコン基板（φ8インチ）を用意した。この基板を支持手段2の上に設置した後、排気手段8によりプラズマ発生室9内を排気し、 $1.33 \times 10^{-3}$  Paまで減圧させた。プラズマ処理用ガス導入口7から酸素ガスを2slmの流量でプラズマ発生室9内に導入した。ついで、排気手段8に設けられたコンダクタンスバルブを調整し、室9内を133Paに保持した。室9内に、2.45GHzのマイクロ波電源より1.5kWの電力を供給した。かくして、室9内にプラズマを発生させた。この際、プラズマ処理用ガス導入口8を介して導入された酸素ガスは室9内で励起、分解、反応してオゾンとなり、シリコン基板の方向に輸送される。基板上のフォトリジストはオゾンにより酸化し、気化・除去された。アッシング後、アッシング速度・均一性及び基板表面電荷密度などについて評価した。

【0073】得られたアッシング速度及び均一性は、 $6.6 \mu\text{m}/\text{min} \pm 3.5\%$ と極めて良好で、表面電荷密度も $-1.3 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ と充分低い値を示した。

【0074】（実施例2）図1に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子保護用窒化シリコン膜の形成を行った。

【0075】被処理体Wとしては、ラインアンドスペース0.5μmのA1配線パターンが表面に形成された酸化シリコン膜付きP型単結晶シリコン基板（面方位〈100〉、抵抗率 $10 \Omega\text{cm}$ ）を用意した。まず、被処理体を支持手段2上に設置した後、排気手段8により室9内を排気し、 $1.33 \times 10^{-3}$  Paの値まで減圧させた。続いて温度制御手段11のヒーターに通電し、シリコン基板を300℃に加熱し、該基板をこの温度に保持した。プラズマ処理用ガス導入口7より窒素ガスを600sccmの流量で、また、モノシランガスを200sccmの流量で室9内に導入した。ついで、排気系に設けられたコンダクタンスバルブを調整し、室9内を2.66Paに保持した。ついで、2.45GHzのマイクロ波電源より3.0kWの電力を供給した。かくして、室9内にプラズマを発生させた。この際、導入された窒素ガスは室9内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がシリコン基板上に1.0μmの厚さで堆積した。成膜速度・均一性・応力などの膜質について評価した。応力は成膜前後の基板の反り量の変化をレーザ干渉計Zygo（商品名）で測定し求めた。

【0076】得られた窒化シリコン膜の成膜速度及び均一性は、 $510 \text{nm}/\text{min} \pm 2.5\%$ と極めて大きく、膜質も応力 $1.2 \times 10^8$  Pa（圧縮）、リーク電流 $1.2 \times 10^{-10}$  A/cm<sup>2</sup>、絶縁耐圧9MV/cm

の極めて良質な膜であることが確認された。

【0077】（実施例3）図1に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、プラスチックレンズ反射防止用酸化シリコン膜及び窒化シリコン膜の形成を行った。

【0078】被処理体として、直径50mmプラスチック凸レンズを使用した。レンズを支持手段2上に設置した後、室9内を排気し、 $1.33 \times 10^{-3}$  Paの値まで減圧させた。

【0079】窒素ガスを160sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で室9内に導入した。ついで、コンダクタンスバルブを調整し、室9内を0.93Paに保持した。ついで、2.45GHzのマイクロ波電源より3.0kWの電力を室9内に供給した。かくして、室9内にプラズマを発生させた。この際、導入された窒素ガスは、室9内で励起、分解されて窒素原子などの活性種となり、レンズの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、窒化シリコン膜がレンズ上に21nmの厚さで堆積した。

【0080】次に、酸素ガスを200sccmの流量で、また、モノシランガスを100sccmの流量で室9内に導入した。ついで、コンダクタンスバルブを調整し、室9内を0.13Paに保持した。ついで、2.45GHzのマイクロ波電源より2.0kWの電力をプラズマ発生室9内に供給した。かくして、室9内にプラズマを発生させた。この際、導入された酸素ガスは、室9内で励起、分解されて酸素原子などの活性種となり、レンズの方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がレンズ上に86nmの厚さで堆積した。成膜後、成膜速度・均一性、反射特性について評価した。

【0081】得られた窒化シリコン膜及び酸化シリコン膜の成膜速度及び均一性はそれぞれ $320 \text{nm}/\text{min} \pm 2.0\%$ 、 $350 \text{nm}/\text{min} \pm 2.3$ と良好で、膜質も、500nm付近の反射率が0.3%と極めて良好な光学特性であることが確認された。

【0082】（実施例4）図1に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子の層間絶縁用酸化シリコン膜の形成を行った。

【0083】被処理体として、最上部にラインアンドスペース0.5μmのA1パターンが形成されたP型単結晶シリコン基板（面方位〈100〉、抵抗率 $10 \Omega\text{cm}$ ）を用意した。まず、シリコン基板を支持手段2上に設置した。室9内を排気し、 $1.33 \times 10^{-3}$  Paの値まで減圧した。続いてヒーターに通電し、シリコン基板を300℃に加熱し、該基板をこの温度に保持した。酸素ガスを500sccmの流量で、また、モノシランガスを200sccmの流量で室9内に導入した。ついで、排気系に設けられたコンダクタンスバルブを調整し、室9内を4.0Paに保持した。ついで、13.56MHzの高周波印加手段から300Wの電力を支持手段2に印加するとともに、2.45GHzのマイクロ波電源よ



り2.0kWの電力を室9内に供給した。かくして室9内にプラズマを発生させた。導入された酸素ガスは室9内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板の方向に輸送され、モノシランガスと反応し、酸化シリコン膜がシリコン基板上に0.8μmの厚さで堆積した。この時、イオン種はRFバイアスにより加速されて基板に入射しパターン上の膜を削り平坦性を向上させる。処理後、成膜速度・均一性、絶縁耐圧、及び段差被覆性について評価した。段差被覆性は、Al配線パターン上に成膜した酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、ボイドを観測することにより評価した。

【0084】得られた酸化シリコン膜の成膜速度及び均一性は240nm/min±2.2%と良好で、膜質も絶縁耐圧8.5MV/cm、ボイドフリーであって良質な膜であることが確認された。

【0085】(実施例5)図1に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子の層間絶縁膜のエッチングを行った。

【0086】被処理体としては、ラインアンドスペース0.18μmのAlパターン上に1μm厚の酸化シリコン膜が形成されたP型単結晶シリコン基板(面方位〈100〉、抵抗率10Ωcm)を用意した。まず、シリコン基板を支持手段2上に設置した後、室9内を排気し、 $1.33 \times 10^{-3}$ Paの値まで減圧した。C、F<sub>2</sub>を100sccmの流量で室9内に導入した。ついで、排気系に設けられたコンダクタンスバルブを調整し、室9内を1.33Paの圧力に保持した。ついで、13.56MHzの高周波印加手段から300Wの電力を支持手段2に印加するとともに、2.45GHzのマイクロ波電源より2.0kWの電力を室9内に供給した。かくして室9内にプラズマを発生させた。導入されたC、F<sub>2</sub>ガスはプラズマ室9内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板の方向に輸送され、自己バイアスによって加速されたイオンによって酸化シリコン膜がエッチングされた。支持手段2に付設した温度制御装置としてのクーラにより基板温度は80℃までしか上昇しなかった。エッチング後、エッチング速度・均一性、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされた酸化シリコン膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、評価した。

【0087】エッチング速度及び均一性と対ポリシリコン選択比は540nm/min±2.2%、20と良好で、エッチング形状もほぼ垂直で、マイクロローディング効果も少ないことが確認された。

【0088】(実施例6)図1に示したマイクロ波プラズマ処理装置を使用し、半導体素子層間絶縁用ポリアリールエーテル膜のエッチングを行った。

【0089】被処理体として、600nm厚のポリアリールエーテル(PAE)膜上に直径0.18μmホールが形成された200nm厚の酸化シリコン膜パターンを

有するP型単結晶シリコン基板(面方位〈100〉、抵抗率10Ωcm)を用意した。まず、シリコン基板を支持手段2上に設置した後、室9内を真空排気し、 $1.33 \times 10^{-3}$ Paの値まで減圧した。NH<sub>3</sub>を200sccmの流量で室9内に導入した。ついで、排気系に設けられたコンダクタンスバルブを調整し、室9内を1.33Paの圧力に保持した。ついで、1.5MHzの高周波印加手段から500Wの電力を支持手段2に印加するとともに、2.45GHzのマイクロ波電源より2.0kWの電力を室9内に供給した。かくして、室9内にプラズマを発生させた。導入されたNH<sub>3</sub>ガスは室9内で励起、分解されて活性種となり、シリコン基板の方向に輸送され、自己バイアスによって加速されたイオンによってPAE膜がエッチングされた。クーラにより基板温度は-10℃まで冷却した。エッチング後、エッチング速度・均一性、選択比、及びエッチング形状について評価した。エッチング形状は、エッチングされたPAE膜の断面を走査型電子顕微鏡(SEM)で観測し、評価した。

【0090】エッチング速度及び均一性と対酸化シリコン選択比は820nm/min±3.2%、40と良好で、エッチング形状もほぼ垂直で、マイクロローディング効果も少ないことが確認された。

【0091】

【発明の効果】高品質な処理をより高速かつ均一に行うことが可能になるように、特に導入部と対向部のプラズマ密度バランスが崩れない高密度低電子温度プラズマを発生し得る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態によるプラズマ処理装置の模式的断面図である。

【図2】本発明に用いられる分岐回路を有するマイクロ波供給器の模式的上面図である。

【図3】プラズマ発生の様子を説明するための模式図である。

【図4】本発明の別の実施形態によるプラズマ処理装置の模式的断面図である。

【図5】本発明に用いられる分岐回路の模式的斜視図である。

【図6】従来のプラズマ処理装置の模式的断面図である。

【符号の説明】

- 1 容器
- 2 支持手段
- 3 マイクロ波供給器
- 4 誘電体窓
- 5 矩形導波管
- 6 マイクロ波電源
- 7 ガス導入手段
- 8 排気手段

15

16

9 プラズマ発生室

11 温度制御装置

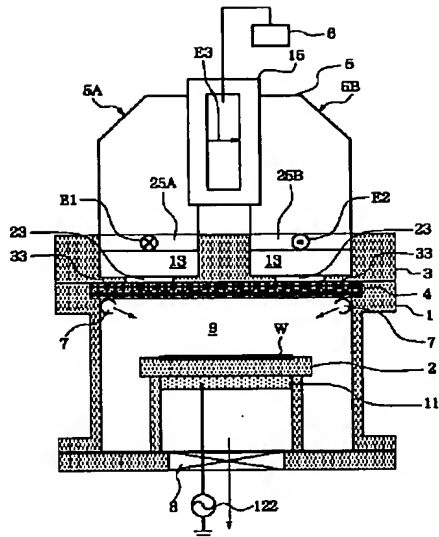
13 環状導波器

\* 15 分岐回路 (E面分岐)

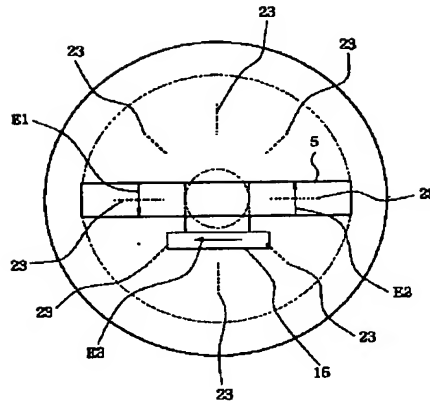
23 スロット

\* 25A、25B 導入口

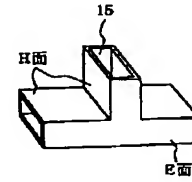
【図1】



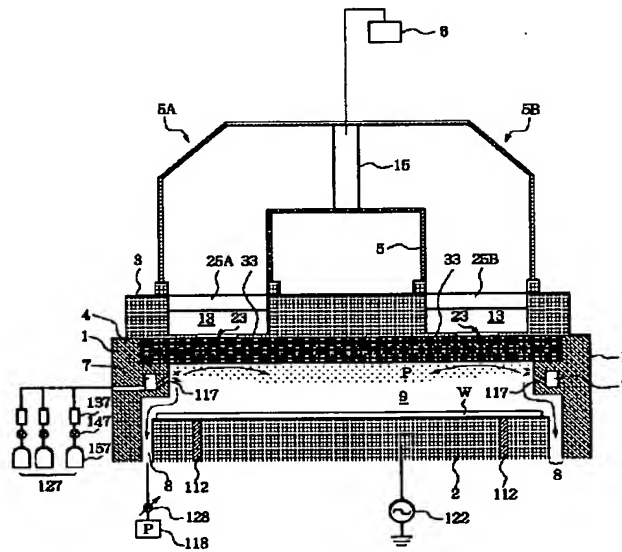
【図2】



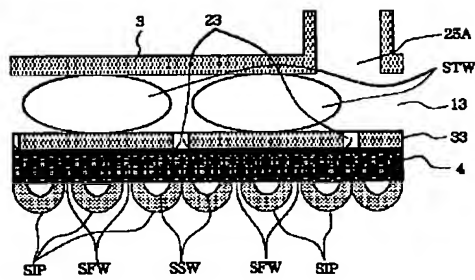
【図5】



【図4】



【図3】



## フロントページの続き

F ターム(参考) 4K030 AA06 AA18 BA40 BA44 CA04  
CA07 DA08 FA01 JA01 KA30  
KA45 LA15 LA24  
4M104 AA01 BB01 BB02 BB14 BB16  
BB17 BB18 BB30 BB36 DD08  
DD16 DD17 DD19 DD20 DD44  
DD45 DD65 DD67 EE08 HH20  
5F004 AA01 BA20 BB07 BB13 BB14  
BB32 BD01 DA01 DA02 DA04  
DA05 DA06 DA17 DA18 DA24  
DA25 DA26 DB00 DB01 DB03  
DB07 DB08 DB09 DB10 DB12  
DB13 DB14 DB23 DB25 DB26  
EB03  
5F045 AA09 AB03 AB04 AB06 AB10  
AB31 AB32 AB33 AC01 AC02  
AC07 AC15 AC16 AC17 AF02  
AF08 AF09 BB02 BB09 DP04  
EH02 EH03 EH16